

РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ СЕРЫ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБОГАЩЕНИЯ $> 10^3$ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ CO_2 -ЛАЗЕРА НА МОЛЕКУЛУ SF_6

Р.В.Амбарцумян, Ю.А.Горохов, В.С.Летохов
Г.Н.Макаров

Сообщается о разделении изотопов серы методом селективной диссоциации молекул SF_6 в сильном поле импульсного CO_2 -лазера. Получен коэффициент обогащения в одном цикле 2800 без каскадирования.

1. В настоящей статье сообщается о первом успешном разделении изотопов при воздействии на молекулярный газ мощных импульсов ИК излучения с исключительно высоким коэффициентом обогащения в одном цикле и физическом разделении изотопов. Единственный известный эксперимент по разделению изотопов ^{10}B и ^{11}B при воздействии на молекулу BCl_3 мощных импульсов CO_2 -лазера [1] требовал быстрого химического связывания атомов В акцептором O_2 и на стадии образования радикала BO позволил достигнуть коэффициента-обогащения около 10. Физический принцип разделения в данных экспериментах основан на селективной химически необратимой диссоциации одного из изотопов молекулы SF_6 в сильном поле ИК резонансного излучения лазера. Описываемый метод представляется нам наиболее простым методом лазерного разделения изотопов из всех опубликованных.

2. Эксперимент состоял в облучении кюветы с SF_6 сфокусированным излучением импульсного CO_2 -лазера и регистрации ИК и масс-спектра остаточного газа (SF_6) до и после облучения. CO_2 -лазер с поперечным разрядом с предварительной фотоионизацией излучал импульсы с частотой 1,5 Гц, энергией 2 Дж и длительностью по полувысоте 90 нсек. Частота генерации настраивалась дисперсионным резонатором на области поглощения отдельных изотопов молекулы SF_6 природного изотопного состава на колебании ν_3 (10,6 мкм). Лазерный луч фокусировался линзой с $f = 50$ см в кювету длиной 50 см и объемом 60 см³, содержащую SF_6 природного изотопного состава ($^{32}\text{S} - 95\%$; $^{33}\text{S} - 0,75\%$, $^{34}\text{S} - 4,2\%$, $^{36}\text{S} - 0,017\%$) и в некоторых случаях акцепторные молекулы. Интенсивность ИК поля в кювете в области фокуса достигала 1 – 2 Гвт/см², т. е. интенсивность при которой обычно наблюдается бесстолкновительная диссоциация молекул [3]. Изотопный состав до и после облучения анализировался на масс-спектрометре МИ-1309. Кроме этого газ, оставшийся после облучения, в ряде экспериментов конденсировался в дополнительную кювету для исследования степени обогащения по ИК спектрам поглощения в области 10,6 мкм.

3. При настройке частоты CO_2 -лазера на ник полосы поглощения $^{32}\text{SF}_6$ на 947 см^{-1} [3, 4] (линия $P(16)$ лазера) после облучения кюветы ($\text{SF}_6 - 0,18 \text{ тор}$, $\text{H}_2 - 2 \text{ тор}$) $2 \cdot 10^3$ импульсами молекулы $^{32}\text{SF}_6$ в результате селективной диссоциации из смеси почти полностью исчезли. Масс-спектр SF_6 содержит в основном линии, соответствующие молекулам $^{32}\text{SF}_6$ и $^{34}\text{SF}_6$. Из отношения амплитуд масс-линий до и после облучения (рис. 1) получаем величину коэффициента обогащения смеси изотопом ^{34}S по отношению к изотопу ^{32}S

$$K\left(\frac{34}{32}\right) = \frac{[^{34}\text{S}]_*}{[^{32}\text{S}]_*} \bigg/ \frac{[^{34}\text{S}]_0}{[^{32}\text{S}]_0} \approx 2800$$

где индекс "0" относится к необлученной смеси. Таким образом, концентрация молекул $^{34}\text{SF}_6$ увеличилась с 4,2 до 95%. Происходит также заметное обогащение смеси изотопом ^{33}S по отношению к изотопу ^{32}S . В аналогичных опытах был получен коэффициент обогащения смеси изотопом ^{36}S по отношению к ^{32}S $K(36/32) \approx 1200$.

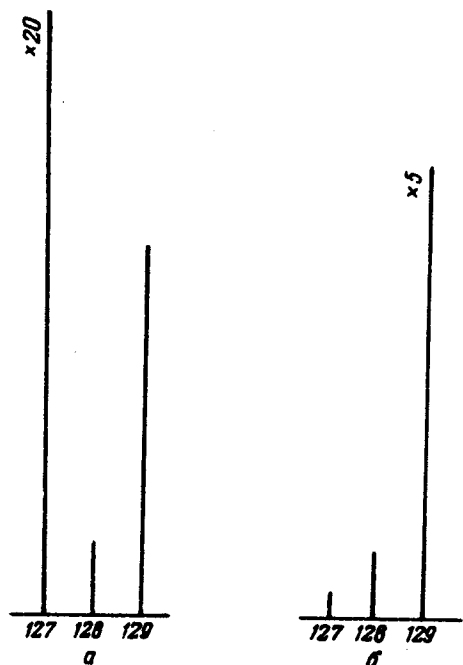


Рис. 1. Участок масс-спектра SF_6 (радикал SF_5^+): а) природная смесь до облучения; б) после облучения $2 \cdot 10^3$ импульсами CO_2 -лазера (линия $P(16)$)

При настройке частоты CO_2 -лазера на полосу поглощения молекулы $^{34}\text{SF}_6$ [3, 4] (линия $P(40)$ лазера) после облучения кюветы с тем же составом 30 импульсами коэффициент обогащения смеси изотопом ^{32}S по отношению к ^{34}S $K(32/34) = 1,7$, а после 500 импульсов $K(32/34) = 18$. Таким образом, концентрация изотопа ^{32}S в смеси стала выше 99%, а концентрация изотопа ^{34}S уменьшилась с 4,2 до 0,2%.

4. Для наглядности и демонстрации физического разделения изотопов остаток газа после облучения вымораживался из облучаемой кюветы в малую кювету, пригодную для измерения ИК спектра. Исходная кювета облучалась так, чтобы переработать молекулы $^{32}\text{SF}_6$ до концентрации

молекул $^{34}\text{SF}_6$. На рис. 2, а приведен ИК спектр природной смеси молекул SF_6 до облучения в кювете длиной 6 см, объемом 25 см^3 при давлении $\text{SF}_6 - 1 \text{ тор}$. На рис. 2, б приведен ИК спектр, полученный после конденсации в ту же кювету остаточной смеси SF_6 после облучения $0,5 \text{ тор}$ природной смеси SF_6 в кювете длиной 100 см, объемом 500 см^3 . Отчетливо видно увеличение относительной концентрации молекул $^{34}\text{SF}_6$ и $^{36}\text{SF}_6$ за счет выгорания молекул $^{32}\text{SF}_6$.

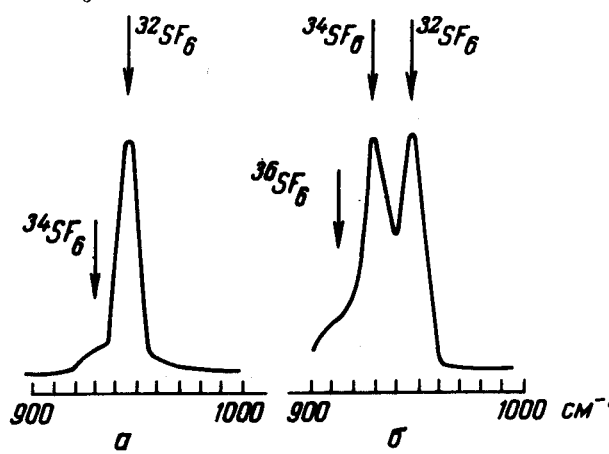


Рис. 2. ИК спектр поглощения колебания ν_3 в SF_6 а) природная смесь, б) обогатенная в данных экспериментах смесь

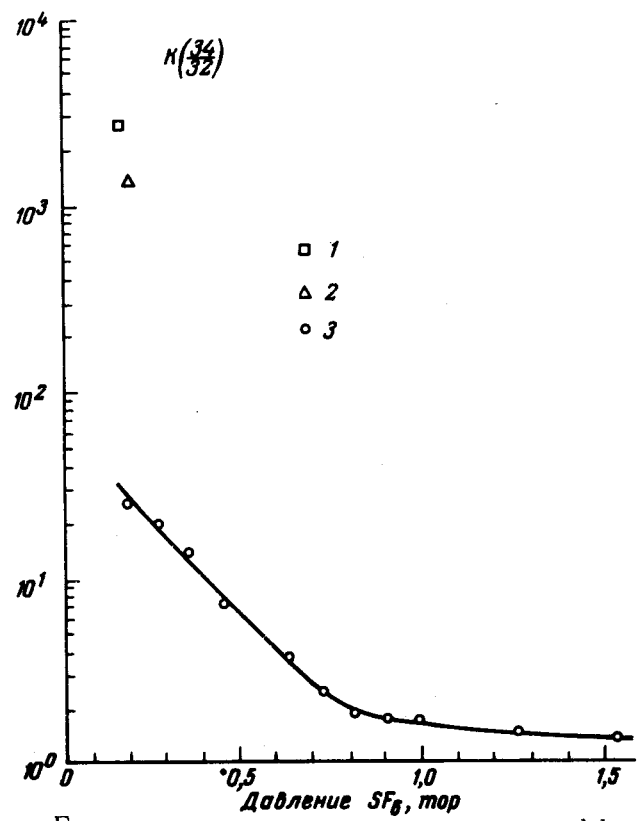


Рис. 3. Зависимость коэффициента обогатения изотопа $^{34}\text{SF}_6$ по отношению к $^{32}\text{SF}_6$ от исходного давления SF_6 в кювете

Была измерена также зависимость коэффициента обогатения $K(34/32)$ при различных давлениях SF_6 . Результаты измерений для различного числа импульсов приведены на рис. 3. В области выше $0,5 \text{ тор}$ обогатение падает обратно пропорционально давлению.

Качественно аналогичные результаты получены при облучении как чистой SF_6 , так и при добавлении акцепторов H_2 , NO и HBr . Химический анализ продуктов диссоциации и химических реакций не производился, хотя в экспериментах с H_2 замечено присутствие HF .

5. Как показано в [1], молекула, находящаяся в сильном поле излучения ИК лазера, может изотопически селективно вступать в химические реакции. Хотя в данном случае, в противоположность к [1], необратимая диссоциация молекул происходила без видимой люминесценции, это скорее не противоречие, а характеристика образования радикалов при ИК фотолизе молекулы SF_6 . По-видимому, не образуются радикалы в электронно-возбужденном состоянии.

Итак, в наших экспериментах было впервые осуществлено макроскопическое разделение изотопов под действием ИК лазерного излучения с выходом около 10^{-4} к SF_6 и двадцатикратным обогащением за 100 импульсов с энергией 2 Дж в течение 1 мин (при частоте повторения 1,5 Гц).

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 февраля 1975 г.

Литература

- [1] Р.В.Амбарцумян, В.С.Летохов, Е.А.Рябов, Н.В.Чекалин. Письма в ЖЭТФ, **20**, 597, 1974.
- [2] R.V.Ambartzumian, V.S.Doljikov, V.S.Letokhov, E.A.Ryabov, N.V.Chekalin. Chem. Phys. Lett., **25** 1281, 1974.
- [3] H.Brunet, M.Perez. J. Mol. Spectr., **29**, 472, 1969.
- [4] В.Д.Климов, Е.А.Лобиков. Оптика и спектроскопия, **30**, 48, 1971.